

PCT/EP 03/12860

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

## PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



EPO - Munich  
83  
08. April 2004

REC'D 21 APR 2004

WIPO PCT

### Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:**

102 54 053.5

**Anmeldetag:**

19. November 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Endress + Hauser Flowtec AG, Reinach/CH

**Bezeichnung:**

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung und/oder  
Überwachung eines Volumen- und/oder Massen-  
stroms

**IPC:**

G 01 F 1/66

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. März 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Kahle

## **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung eines Volumen- und/oder Massenstroms**

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumen- und/oder Massenstroms eines durch ein Behältnis fließenden Mediums, wobei von einem in einer ersten Position an dem Behältnis angebrachten Ultraschallwandler Meßsignale ausgesendet werden und wobei von einem in einer zweiten Position an dem Behältnis angebrachten Ultraschallwandler die Meßsignale empfangen werden, und wobei anhand der Meßsignale bzw. anhand der aus den Meßsignalen ermittelten Meßdaten Information über den Volumenstrom und/oder den Massenstrom des in dem Behältnis befindlichen Mediums bereitgestellt wird. Üblicherweise handelt es sich bei dem Behältnis um ein Rohr.

10

15

Ultraschall-Durchflußmeßgeräte werden vielfach in der Prozeß- und Automatisierungstechnik eingesetzt. Sie erlauben es, den Volumen- und/oder Massenstrom eines Mediums in einem Rohr berührungslos zu bestimmen.

20

Die bekannten Ultraschall-Durchflußmeßgeräte arbeiten entweder nach dem Doppler-Prinzip oder nach dem Laufzeitdifferenz-Prinzip. Beim Laufzeitdifferenz-Prinzip wird die unterschiedliche Laufzeit von Ultraschall-Meßsignalen in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung des Mediums ausgewertet. Hierzu werden die Ultraschall-Meßsignale von den Ultraschallwandlern wechselweise in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung des Mediums ausgesendet bzw. empfangen. Anhand der Laufzeitdifferenz der Ultraschall-Meßsignale läßt sich die Fließgeschwindigkeit und damit bei bekanntem Durchmesser des Rohres der Volumendurchfluß bzw. bei bekannter Dichte des Mediums der Massendurchfluß bestimmen.

25

30

Beim Doppler-Prinzip werden Ultraschall-Meßsignale mit einer vorgegebenen Frequenz in das strömende Medium eingekoppelt. Die in dem Medium reflektierten Ultraschall-Meßsignale werden ausgewertet. Anhand einer zwischen dem eingekoppelten und dem reflektierten Ultraschall-Meßsignal auftretenden Frequenzverschiebung läßt sich ebenfalls die Fließgeschwindigkeit

35

keit des Mediums bzw. der Volumen und/oder Massenstrom bestimmen. Der Einsatz von Durchflußmeßgeräten, die nach dem Doppler-Prinzip arbeiten, ist nur möglich, wenn in dem Medium Luftbläschen oder Verunreinigungen vorhanden sind, an denen die Ultraschall-Meßsignale reflektiert werden. Damit ist der Einsatz derartiger Ultraschall-Durchflußmeßgeräte im Vergleich zu den Ultraschall-Durchflußmeßgeräten, die nach dem Laufzeitdifferenz-Prinzip arbeiten, ziemlich eingeschränkt.

Hinsichtlich der Typen von Meßgeräten wird unterschieden zwischen Ultraschall-Durchflußmeßaufnehmern, die in die Rohrleitung eingesetzt werden, und Clamp-On Durchflußmeßgeräten, bei denen die Ultraschallwandler von außen an die Rohrleitung mittels eines Spannverschlusses angepreßt werden. Clamp-On Durchflußmeßgeräte sind beispielsweise in der EP 0 686 255 B1, der US-PS 4,484,478 oder der US-PS 4,598,593 beschrieben.

Bei beiden Typen von Ultraschall-Durchflußmeßgeräten werden die Ultraschall-Meßsignale unter einem vorgegebenen Winkel in das Rohr, in dem sich das strömende Medium befindet, eingestrahlt und/oder empfangen. Um die Ultraschall-Meßsignale unter einem bestimmten Winkel in das Rohr bzw. in das Medium einstrahlen zu können, erfolgt bei Clamp-On Durchflußmeßgeräten die Ein- und Auskopplung der Ultraschall-Meßsignale in das Rohr über einen Vorlaufkörper bzw. einen Koppelkeil. Um eine optimale Impedanzanpassung zu erreichen, ist es darüber hinaus bekannt, die Koppelkeile aus einem geeignet brechenden Material, z.B. aus Kunststoff zu fertigen. Hauptbestandteil eines Ultraschallwandlers ist üblicherweise zumindest ein piezo-elektrisches Element, welches die Ultraschall-Meßsignale erzeugt und/oder empfängt.

Es gibt nun unterschiedliche Gründe, weshalb die Messung des Volumen- bzw. Massendurchflusses mittels Ultraschall-Meßsignalen nicht möglich ist. Generell tritt eine Fehlmessung aber zumindest immer dann auf, wenn der Schallpfad, auf dem sich die Ultraschall-Meßsignale von dem Sende- zum Empfangs-Ultraschallwandler ausbreiten, an einer Stelle unterbrochen ist. Eine derartige Unterbrechung kann an unterschiedlichen Stellen im Schallpfad auftreten. Als Beispiele seien die folgenden System- und Prozeßfehler genannt:

- Die Dämpfung des Mediums ist zu groß;
- Die Ankopplung von zumindest einem Ultraschallwandler an das Behältnis ist unzureichend;
- 5 - Es befindet sich ein Luftspalt zwischen der Innenwand des Behältnisses und einem auf die Innenwand des Behältnisses aufgetragenen Liner;
- Die Dämpfung im Material des Behältnisses ist zu groß; dies kann z. B. der Fall sein, wenn die Ultraschallmessung in GFK Rohren erfolgt;
- 10 - Das Behältnis bzw. das Rohr ist leer – in dem Rohr befindet sich aus irgendwelchen Gründen kein Medium.

Wünschenswert ist es in diesem Zusammenhang, wenn dem Bedienpersonal nicht nur angezeigt wird, daß ein Fehler aufgetreten ist, sondern wenn ihm zusätzlich angezeigt wird, wo die konkrete Ursache für den aufgetretenen Fehler zu suchen ist. Bei den bekannten Durchflußmeßgeräten muß die Ursache für einen aufgetretenen Fehler bzw. die Unterbrechung des Schallpfads in einem mehr oder weniger aufwendigen Trial-/Error-Verfahren ermittelt werden. Dies ist natürlich aufwendig und kostenintensiv. So kann es vorkommen, daß das Meßgerät in allen Details einer Überprüfung unterzogen wird, obwohl die Fehlmessung daher rührt, daß im Rohr kein Medium fließt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung vorzuschlagen, die es ermöglichen, zusätzlich zur Bestimmung des Volumenstroms bzw. Massenstroms eines Mediums eine Fehlfunktion einer anderweitigen System- und/oder Prozeßgröße zu erkennen.

Die Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens dadurch gelöst, daß aktuell gemessene IST- Meßsignale bzw. die entsprechenden IST- Meßdaten mit korrespondierenden abgespeicherten SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten verglichen werden, und daß eine Meldung ausgegeben wird, wenn eine Abweichung zwischen den SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten und den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten auftritt. Bevorzugt wird eine Abweichung zwischen den SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten und den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten bei einem Clamp-On Durchflußmeßgerät durchgeführt, das nach dem Laufzeitdifferenz-Prinzip arbeitet. Die SOLL-Meßsignale bzw. die SOLL-Meßdaten bzw. die nachfolgend genannten

Signaturen sind in einer Speichereinheit in Form von Tabellen und/oder Funktionen abgelegt. Der Vergleich zwischen den SOLL-Meßsignalen bzw. den SOLL-Meßdaten und den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten erfolgt bevorzugt über eine Korrelation. Sukzessive oder parallel kann der Vergleich der aktuellen Meßsignale/Meßdaten mit mehreren SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten, die unter unterschiedlichen fehlerhaften Bedingungen ermittelt wurden, durchgeführt werden. Tritt zwischen den Soll-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten und den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten zumindest ein vorgegebener Ähnlichkeitsgrad auf, wird beispielsweise der Korrelationskoeffizient um einen vorgegebenen Toleranzwert über- oder unterschritten, so läßt sich die Ursache für die Unterbrechung des Schallpfads ermitteln. Diese Ursache für die Unterbrechung des Schallpfads wird konkret definiert und ausgegeben. Das Bedienpersonal kann so gezielt einen aufgetretenen Fehler beheben, ohne lange nach der Ursache für das Auftreten des Fehlers fahnden zu müssen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß aus den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten und den SOLL-Meßsignalen bzw. den SOLL-Meßdaten jeweils eine Signatur abgeleitet wird, wobei durch die Signatur die Information über den Volumen- bzw. Massenstrom des Mediums hinreichend genau beschrieben wird. Durch diese Maßnahme wird eine Reduktion der Meßdaten erreicht, ohne daß deren Informationsgehalt in den wesentlichen Details geschmälert wird. Die Reduktion führt dazu, daß die Rechenleistung der Regel-/Auswerteeinheit, insbesondere beim Vergleich der SOLL- mit den IST-Meßsignale/Meßdaten verringert wird, d.h. weniger leistungsstarke Mikroprozessoren können zum Einsatz kommen. Gleiches gilt im Hinblick auf die zur Anwendung kommenden Speicherbausteine. Bleibt festzuhalten, daß sich der Energiebedarf und die Herstellungskosten mittels dieser Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens erheblich reduzieren lassen.

Gemäß einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die SOLL-Meßsignale bevorzugt sowohl bei nicht gefülltem Behältnis als auch bei gefülltem Behältnis ermittelt.

Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens schlägt Folgendes vor: die IST-Meßsignale bzw. die SOLL-Meßsignale

und/oder die entsprechenden Signaturen werden digitalisiert und abgespeichert; die IST-Meßsignale/IST-Meßdaten oder die anhand der IST-Meßsignale/IST-Meßdaten ermittelten Signaturen werden mit den entsprechenden SOLL-Meßsignalen/SOLL-Meßdaten oder den entsprechenden Signaturen der SOLL-Meßsignale/Meßdaten verglichen; dem Bedienungspersonal wird eine Fehlermeldung mit konkretem Hinweis auf die Ursache für den aufgetretenen Fehler ausgegeben, sobald eine Abweichung zwischen den IST- und SOLL-Meßsignalen/Meßdaten bzw. den IST- und SOLL-Signaturen auftritt; bevorzugt wird die Fehlermeldung erst ausgegeben, wenn die Abweichung außerhalb eines vorgegebenen Toleranzwertes liegt. Parallel zu der Fehlermeldung können mittels der Regel-/Auswerteeinheit auch direkt Korrektur- und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Bei diesen Maßnahmen handelt es sich z.B. um das Überprüfen von Ventilen, um die Einleitung eines Reinigungsprozesses oder um einen Not-Stop der Prozeßanlage.

Weiterhin sieht eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vor, daß anhand des Vergleichs der IST-Meßsignale/IST-Meßdaten bzw. anhand des Vergleichs der Signaturen der IST-Meßsignale/IST-Meßdaten mit den SOLL-Meßsignalen/SOLL-Meßdaten bzw. den entsprechenden Signaturen der SOLL-Meßsignale/SOLL-Meßdaten eine Aussage dahingehend getroffen wird, durch welchen System- und/oder Prozeßfehler die Abweichung verursacht wird. Eine wesentliche Fehlerquelle ist – wie bereits erwähnt – die Unterbrechung des Schallpfads, den die Ultraschall-Meßsignale von dem Sende- zum Empfangs-Ultraschallwandler nehmen. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung ist es nun möglich, eine sog. Advanced Diagnostic durchzuführen, d.h. dem Bedienpersonal nicht nur anzuzeigen, daß irgendwo am Meßgerät oder im Prozeß ein Fehler aufgetreten ist, sondern auch was die Ursache für den aufgetretenen Fehler konkret ist.

Beispielsweise wird anhand der Abweichung erkannt, ob das Behältnis nicht mit dem Medium gefüllt ist, und/oder ob die Ankopplung der Ultraschallwandler an das Behältnis fehlerhaft ist, und/oder ob die Dämpfung der Meßsignale durch das in dem Behältnis befindliche Medium einen vorgegebenen maximalen Wert übersteigt, und/oder ob eine Luftschicht

zwischen dem Behältnis und einem auf die Innenfläche des Behältnisses aufgetragenen Liners vorhanden ist, und/oder ob die Dämpfung der Meßsignale in der Wandung des Behältnisses ein maximal vorgegebenes Maß übersteigt. Damit wird dem Bedienpersonal also nicht nur mitgeteilt, daß ein System- und/oder Prozeßfehler aufgetreten ist, sondern es wird auch ein verlässlicher Hinweis geliefert, wo der Fehler zu suchen ist. Ohne große Zeitverzögerung und aufwendige Untersuchungen können gezielt die Reparatur- bzw. Gegen-Maßnahmen eingeleitet werden.

Allgemein läßt sich Folgendes sagen: Um die SOLL-Daten und die IST-Daten vergleichen zu können, werden die SOLL-Daten vor der Aufnahme des eigentlichen Meßbetriebs bei leerem Rohr aufgenommen und gespeichert. Dadurch wird dem Gerät "gelehrt", wie die Ultraschall-Meßsignale bei leerem Rohr auszusehen haben. Im eigentlichen Meßbetrieb des Ultraschall-Durchflußmeßgeräts interessieren nun die gespeicherten SOLL-Daten nicht mehr. Erst im Fehlerfall, wenn die akustische Meßstrecke also unterbrochen ist, werden die aktuell gemessenen IST-Daten mit den gespeicherten SOLL-Daten verglichen. Stimmen die Daten größtenteils überein, so kann die Aussage getroffen werden, daß das Rohr mit größter Wahrscheinlichkeit leer ist. Stimmen die Daten nicht hinreichend genug überein, so liegt offensichtlich ein anderer Grund für die Unterbrechung des akustischen Schallweg und die damit einhergehende Fehlmessung vor. Durch ein sukzessives Vergleichsverfahren gelingt es nachfolgend, die Fehlerursache einzugrenzen und letztlich verlässliche Aussagen hinsichtlich der Fehlerursache zu machen.

Bezüglich der Vorrichtung wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Regel-/Auswerteeinheit die aktuell gemessenen IST- Meßsignale bzw. die entsprechenden IST- Meßdaten mit korrespondierenden abgespeicherten SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten vergleicht und daß die Regel-/Auswerteeinheit eine Abweichung zwischen den SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten und den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten ausgibt.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, daß die Regel-/Auswerteeinheit Information dahingehend bereitstellt, durch welchen System- und/oder Prozeßfehler die Abweichung verursacht wird.

Bevorzugt handelt es sich bei der Anordnung der Ultraschallwandler um eine Ein-Traversen-Anordnung oder um eine Mehrfach-Traversen-Anordnung. Eine Traverse definiert hierbei den Teilbereich eines Schallpfads, auf dem ein Ultraschall-Meßsignal den Behälter, in dem die Messung durchgeführt wird, einmal quert. Neben diametralen Traversen lassen sich durch entsprechende Wandleranordnung - eventuell unter Zuhilfenahme von Reflektorelementen - in einfacher Weise auch chordiale Traversen realisieren.

Bevorzugt wird eine Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung Verwendung finden, bei der zumindest die beiden Ultraschallwandler, die den größten Abstand voneinander aufweisen, abwechselnd im Sende- und im Empfangsbetrieb arbeiten. Wie bereits gesagt, sind die Ultraschallwandler bevorzugt – aber nicht ausschließlich - im Clamp-On Verfahren an dem Behältnis montiert.

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1: ein Clamp-On Durchflußmeßgerät in Zwei-Traversen-Anordnung,

Fig. 2: eine graphische Darstellung der Laufzeit eines Ultraschall-Meßsignals in der in Fig. 1 gezeigten Zwei-Traversen-Anordnung bei leerem Rohr,

Fig. 3: eine graphische Darstellung der Laufzeit eines Ultraschall-Meßsignals in der in Fig. 1 gezeigten Zwei-Traversen-Anordnung bei gefülltem Rohr,

Fig. 4: ein Clamp-On Durchflußmeßgerät in Ein-Traversen-Anordnung,

Fig. 5: eine graphische Darstellung der Laufzeit eines Ultraschall-Meßsignals in der in Fig. 4 gezeigten Ein-Traversen-Anordnung bei leerem Rohr,

Fig. 6 : eine graphische Darstellung der Laufzeit eines Ultraschall-Meßsignals in der in Fig. 4 gezeigten Ein-Traversen-Anordnung bei gefülltem Rohr,



Fig. 7: eine graphische Darstellung der Laufzeit eines Ultraschall-Meßsignals in der in Fig. 1 gezeigten Zwei-Traversen-Anordnung bei korrekter Ankopplung der Ultraschallwandler an das Rohr,

5 Fig. 8: eine graphische Darstellung der Laufzeit eines Ultraschall-Meßsignals in der in Fig. 1 gezeigten Zwei-Traversen-Anordnung bei fehlerhafter Ankopplung der Ultraschallwandler an das Rohr und

10 Fig. 9: der in Fig. 8 gezeigte Verlauf der Ultraschall-Meßsignale bei einem größeren Verstärkungsfaktor.

15 In Fig. 1 ist schematisch ein Clamp-On Durchflußmeßgerät in der bevorzugten Zwei-Traversen-Anordnung 2 dargestellt. Das Meßgerät ermittelt den Volumendurchfluß und/oder den Massendurchfluß des Mediums 10 in dem Rohr 7 nach der bekannten Laufzeitdifferenz-Methode.

20 Wesentliche Komponenten des Clamp-On Ultraschall-Durchflußmeßgerätes sind die beiden Ultraschallwandler 3, 4 und die Regel-/Auswerteeinheit 9. Die beiden Ultraschallwandler 3, 4 sind mittels einer in der Fig. 1 nicht gesondert dargestellten Befestigungsvorrichtung an dem Rohr 7 angebracht. Entsprechende Befestigungsvorrichtungen sind aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt und werden auch von der Anmelderin angeboten und vertrieben. Das Rohr 7 mit einem vorgegebenen Innendurchmesser  $d_i$  wird  
25 von dem Medium 10 in Strömungsrichtung S durchströmt.

Ein Ultraschallwandler 3; 4 weist als wesentliche Bestandteile zumindest ein piezoelektrisches Element 5; 6, das die Ultraschall-Meßsignale erzeugt und/oder empfängt, und einen Koppelkeil bzw. einen Vorlaufkörper 11; 12 auf.  
30 Die Ultraschall-Meßsignale werden über die Koppelkeile 11, 12 in das vom Medium 10 durchströmte Rohr 7 eingekoppelt bzw. aus dem Rohr 7 ausgekoppelt. Die Koppelkeile 11; 12 legen die Einstrahl- bzw. Ausstrahlrichtung der Ultraschall-Meßsignale aus dem Rohr bzw. aus dem Medium fest; darüber hinaus können sie zur Optimierung der Impedanzanpassung dienen.  
35

Die beiden Ultraschallwandler 3, 4 sind derart am Rohr 7 positioniert, daß ein hoher Energieanteil der ausgesendeten Ultraschall-Meßsignale in dem jeweils anderen Ultraschallwandler 4, 3 empfangen wird. Die wechselseitige Positionierung ist abhängig von unterschiedlichen System- und/oder Prozeßgrößen. Bei diesen System- und Prozeßgrößen handelt es sich beispielsweise um den Innendurchmesser  $d_i$  des Rohres 7, um die Dicke  $w$  der Rohrwand 8, um die Schallgeschwindigkeit  $c_R$  des Materials, aus dem das Rohr 7 gefertigt ist, oder um die Schallgeschwindigkeit  $c_M$  des Mediums 10.

Im gezeigten Fall ist der Abstand  $L$  der beiden Ultraschallwandler 3, 4 so bemessen, daß sich die Ultraschall-Meßsignale, die entsprechend der Laufzeitdifferenz-Methode abwechselnd von den beiden Ultraschallwandlern 3, 4 ausgesendet und empfangen werden, über den Schallpfad SP1 in dem vom Medium 10 durchströmten Rohr 7 ausbreiten. Der Schallpfad SP1 weist zwei Traversen auf.

In den Figuren Fig. 2 und Fig. 3 ist anhand von zwei Diagrammen die Amplitude der sich in der Rohrwand 8 und – wenn vorhanden – dem Medium 10 ausbreitenden Ultraschall-Meßsignale gegen die Zeit dargestellt. Bezug genommen wird auf die in Fig. 1 gezeigte Zwei-Traversen-Anordnung 2 der Ultraschallwandler 3, 4. Während Fig. 2 sich auf den 'Fehlerfall' bezieht, daß das Rohr 7 leer ist, zeigt Fig. 3 den 'Normalfall', wenn das Rohr 7 vom Medium 10 durchströmt wird. Zumindest die Information über den 'Fehlerfall', bevorzugt aber auch über den 'Normalfall' muß in der Regel-/Auswerteeinheit 9 in irgendeiner Form als SOLLwert abgespeichert sein.

Beim leeren Rohr 7 hat das Ultraschall-Meßsignal – wie in Fig. 1 zu sehen – nur die Möglichkeit, sich über die Rohrwand 8 auszubreiten. Ein zum Zeitpunkt 'Null' von dem ersten Ultraschallwandler 3 ausgesendetes Ultraschall-Meßsignal wird nach einer Zeit  $t_1$  von dem zweiten Ultraschallwandler 4 empfangen. Die Laufzeit des Ultraschall-Meßsignals läßt sich entweder messen oder errechnen. Eine Berechnung der Laufzeit ist zumindest näherungsweise möglich, wenn die geometrischen Daten des Rohres ( $d_i$  und  $w$ ) sowie die akustischen Eigenschaften des Rohres und des Mediums ( $c_R$  und  $c_M$ ) bekannt sind. Anwendung findet bei der Berechnung das Gesetz von Snellius. Desweiteren kann eine entsprechende Messung z.B. bei

Inbetriebnahme des Ultraschallmeßgeräts vorgenommen werden, die dann das SOLL-Meßsignal für ein Leerrohr verkörpert. Tritt der entsprechende Fall dann nach Inbetriebnahme des Ultraschallmeßgeräts auf, so ist aufgrund der von der Regel-/Auswerteeinheit 9 aufgefundenen Übereinstimmung zwischen dem IST-Meßsignal und dem SOLL-Meßsignal eine klare Aussage möglich, daß in dem Rohr 7 kein Medium 10 vorhanden ist.

Wird das Rohr 7 vom Medium 10 durchströmt, so wird der Großteil der von einem der beiden Ultraschallwandler 3; 4 ausgesendetes Ultraschall-Meßsignal in das Medium 10 eingekoppelt und gelangt über den Schallweg SP1, der das Rohr 7 und damit das strömende Medium zweimal quert, zu dem anderen Ultraschallwandler 4; 3. Aufgrund der längeren Laufstrecke auf dem Schallpfad SP1 wird ein Ultraschall-Meßsignal – wie in Fig. 3 zu sehen – erst nach der längeren Zeitspanne  $t_2$  im jeweils anderen Ultraschallwandler 4; 3 empfangen. Hinzu kommt, daß in vielen Anwendungsfällen die Schallgeschwindigkeit  $c_M$  des Mediums 10 geringer ist als die Schallgeschwindigkeit  $c_R$  des Materials der Rohrwand 8. Auch dies führt zu einem verzögerten Eintreffen des Meßsignals, das Information über den Volumenstrom bzw. den Massenstrom des Mediums 10 in dem Rohr 7 beinhaltet.

In Fig. 4 ist schematisch ein Clamp-On Durchflußmeßgerät in einer Ein-Traversen-Anordnung 1 dargestellt. Das Meßgerät ermittelt den Volumendurchfluß und/oder den Massendurchfluß des Mediums 10 in dem Rohr 7 gleichfalls nach der bekannten Laufzeitdifferenz-Methode. Hier sind die beiden Ultraschallwandler 3, 4 an gegenüberliegenden Seiten des Rohres 7 versetzt angebracht. Wiederum sind die Ultraschallwandler 3, 4 so positioniert, daß ein möglichst großer Anteil eines von einem ersten Ultraschallwandler 3; 4 gesendeten Ultraschall-Meßsignals in dem jeweils anderen Ultraschallwandler 4; 3 empfangen wird.

In den Figuren Fig. 5 und Fig. 6 ist anhand von zwei Diagrammen die Amplitude der sich in der Rohrwand 8 und – wenn vorhanden – dem Medium 10 ausbreitenden Ultraschall-Meßsignale gegen die Zeit dargestellt. Bezug genommen wird jetzt auf die in Fig. 4 gezeigte Ein-Traversen-Anordnung 1 der Ultraschallwandler 3, 4. Während Fig. 5 sich auf den 'Fehlerfall' bezieht, daß das Rohr 7 leer ist, zeigt Fig. 6 den 'Normalfall', wenn das Rohr 7 vom

Medium 10 durchströmt wird. Auch bei dieser Anordnung der Ultraschallwandler 3, 4 muß zumindest die Information über den 'Fehlerfall', bevorzugt aber auch über den 'Normalfall' in der Regel-/Auswerteeinheit 9 in irgendeiner Form abgespeichert sein.

5

Bei leerem Rohr 7 kann sich ein Ultraschall-Meßsignal nur über die Rohrwand 8 ausbreiten. Daher zeigt sich ein vom ersten Ultraschallwandler 3; 4 ausgesendetes Ultraschall-Meßsignal im zweiten Ultraschallwandler 4; 3 als verrauschtes Signal – wie in Fig. 5 zu sehen ist. Die Zeit  $t_3$ , die vergeht, bis das gesendete Ultraschall-Meßsignal empfangen wird, ist wiederum durch den Abstand der Ultraschallsensoren 3, 4 und durch die Schallgeschwindigkeit des Materials des Rohres 7 vorbestimmt.

10

Bei gefülltem Rohr 7 wird ein gesendetes Meßsignal nach einer Zeitspanne  $t_4$  im jeweils anderen Ultraschallwandler 4; 3 empfangen. Auch hier läßt sich durch Vergleich z.B. der IST-Meßsignale mit den SOLL-Meßsignalen eindeutig darauf schließen, ob das Rohr 7 mit Medium 10 gefüllt ist oder ob das Rohr 7 leer ist. Wie bereits erwähnt, wird zwecks Vergleich bevorzugt eine Korrelation durchgeführt. Unter- oder überschreitet der Korrelationskoeffizient zwischen den SOLL-Daten und den IST-Daten einen vorgegebenen Wert, so wird die auf den konkreten Fehler hindeutende Meldung ausgegeben.

15

20

Die Figuren Fig. 7 und Fig. 8 zeigen gleichfalls graphische Darstellungen der Laufzeit von Ultraschall-Meßsignalen bei der in Fig. 1 dargestellten Zwei-Traversen-Anordnung 2. Der erste Peak entspricht dem Anteil der Meßsignale, die sich über das Rohr 7 ausbreiten, während der zweite Peak den Anteil der Ultraschall-Meßsignale repräsentiert, die sich über das Medium 10 ausbreiten. Fig. 7 zeigt Ultraschall-Meßsignale, wie sie beim ungestörten, normalen Meßbetrieb auftreten. Fig. 8 bezieht sich auf den Fall, daß das Koppelmedium 11, 12 vom Rohr 7 weitgehend entfernt ist, so daß die Schallübertragung zwischen den Ultraschallwandlern 3, 4 und dem Rohr 7 nur noch schwach ist. Auch hier ist also der Schallweg unterbrochen. Man erkennt in Fig. 8, daß die Amplituden der beiden Ultraschall-Meßsignale gegenüber dem normalen Meßbetrieb proportional kleiner werden. Diese kennzeichnende Eigenschaft kann nun sogar für die Fallentscheidung benutzt werden, ob die Dämpfung der Meßsignale durch die mangelnde Ankopplung

25

30

35

der Ultraschallwandler 3, 4 oder durch die starke Dämpfung der Rohr 7 / Medium 10-Anordnung hervorgerufen wird. Im Extremfall, wenn die Kopplung gänzlich unterbrochen ist, zeigt sich überhaupt kein Meßsignal mehr. Weder das sich übers Rohr 7 ausbreitende Meßsignal (erster Peak in Fig. 7 ) noch das sich über das Medium 10 ausbreitende Meßsignal (zweiter Peak in Fig. 7) ist meßbar.

Fig. 9 zeigt übrigens denselben Signalverlauf, wie er auch in Fig. 8 zu sehen ist. Allerdings ist die Verstärkung in Fig. 9 um ca. einen Faktor 4 größer gewählt. Hierdurch treten die eigentlichen Meßsignale besser aus dem Rauschen hervor.

Bei der zuvor beschriebenen Ausgestaltung, die die Erkennung einer unzureichenden Ankopplung der Ultraschallwandler 3, 4 an das Rohr 7 erlaubt, bietet sich zwecks Auswertung der Ultraschall-Meßsignale die folgende Vorgehensweise an: Die SOLL-Daten werden nach der Installation des Clamp-On Durchflußmeßgeräts während des Normalbetriebes aufgenommen. Anschließend werden die IST-Daten laufend mit den SOLL-Daten verglichen. Ergibt sich anhand eines Vergleichs der SOLL-Daten mit den IST-Daten, daß die Amplitude der Meßsignale, die sich über das Medium 10 ausbreiten, im Laufe der Zeit stärker abnimmt als die Amplitude der Meßsignale, die sich über das Rohr 7 ausbreiten, so ist dies ein eindeutiger Hinweis darauf, daß der Fehler seine Ursache in der Übertragung in der Rohr 7 / Medium 10-Anordnung hat. Nehmen hingegen die Amplituden von beiden Meßsignalen ab, so ist dies ein klarer Hinweis darauf, daß die Kopplung zwischen einem Ultraschallwandler 3; 4 und dem Rohr 7 schlechter geworden ist. Generell läßt sich sagen, daß zur Erkennung eines Fehlers in der Rohr 7 / Medium 10-Ankopplung bzw. in der Kopplung zwischen Ultraschallwandler 3, 4 und Rohr 7 eine Veränderung der Amplitudenverhältnisse zwischen den Meßsignalen bestens geeignet ist.

**Bezugszeichenliste**

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| 5  |                               |
|    | 1 Ein-Traversen-Anordnung     |
|    | 2 Zwei-Traversen-Anordnung    |
|    | 3 Ultraschallwandler          |
| 10 | 4 Ultraschallwandler          |
|    | 5 Piezoelektrisches Element   |
|    | 6 Piezoelektrisches Element   |
|    | 7 Behälter / Rohr             |
|    | 8 Wandung / Rohrwand          |
| 15 | 9 Regel-/Auswerteeinheit      |
|    | 10 Medium                     |
|    | 11 Vorlaufkörper / Koppelkeil |
|    | 12 Vorlaufkörper / Koppelkeil |
|    | 13 Beschichtung / Liner       |

### Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumenstroms eines durch ein Behältnis fließenden Mediums, wobei von einem in einer ersten Position an dem Behältnis angebrachten Ultraschallwandler Meßsignale aussendet werden und wobei von einem in einer zweiten Position an dem Behältnis angebrachten Ultraschallwandler die Meßsignale empfangen werden, und wobei anhand der Meßsignale bzw. anhand der aus den Meßsignalen ermittelten Meßdaten Information über den Volumenstrom des in dem Behältnis befindlichen Mediums bereitgestellt wird, **dadurch gekennzeichnet**,  
10 daß aktuell gemessene IST- Meßsignale bzw. die entsprechenden IST-Meßdaten mit korrespondierenden abgespeicherten SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten verglichen werden, und  
15 daß eine Meldung ausgegeben wird, wenn eine Abweichung zwischen den SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten und den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten auftritt.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,  
daß aus den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten und den SOLL-Meßsignalen bzw. den SOLL-Meßdaten jeweils eine Signatur abgeleitet wird, wobei durch die Signatur das jeweilige Meßsignal hinreichend genau  
25 beschrieben wird.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**,  
daß die Soll-Meßsignale bei nicht gefülltem Behältnis (7) und/oder bei gefülltem Behältnis (7) ermittelt werden.
- 35 4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**,  
daß die IST-Meßsignale bzw. die SOLL-Meßsignale und/oder die entsprechenden Signaturen digitalisiert und abgespeichert werden,

daß die IST-Meßsignale/IST-Meßdaten oder die anhand der IST-Meßsignale/IST-Meßdaten ermittelte Signatur mit den entsprechenden SOLL-Meßsignalen/SOLL-Meßdaten oder der entsprechenden Signatur der SOLL-Meßsignale/Meßdaten verglichen werden/wird, und  
5 daß eine Meldung ausgegeben wird, wenn eine Abweichung zwischen den IST- und SOLL-Meßsignalen/Meßdaten bzw. den IST- und SOLL-Signaturen auftritt, die außerhalb eines vorgegebenen Toleranzwertes liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 4,  
10 **dadurch gekennzeichnet,**

daß anhand des Vergleichs der IST-Meßsignale/IST-Meßdaten bzw. anhand des Vergleichs der Signaturen der IST-Meßsignale/IST-Meßdaten mit den SOLL-Meßsignalen/SOLL-Meßdaten bzw. den entsprechenden Signaturen der SOLL-Meßsignale/SOLL-Meßdaten eine Aussage dahingehend getroffen  
15 wird, durch welche fehlerhafte System- und/oder Prozeßgröße die Abweichung verursacht wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**

20 daß anhand der Abweichung erkannt wird,  
ob das Behältnis (7) nicht mit dem Medium (10) gefüllt ist, und/oder  
ob die Ankopplung der Ultraschallwandler (3, 4) an das Behältnis (7) fehlerhaft ist, und/oder  
25 ob die Dämpfung der Meßsignale durch das in dem Behältnis (7) befindliche Medium (10) einen vorgegebenen maximalen Wert übersteigt, und/oder  
ob eine Luftschicht zwischen dem Behältnis (7) und einem auf die Innenfläche des Behältnisses (7) aufgetragenen Liners (13) vorhanden ist, und/oder  
ob die Dämpfung der Meßsignale in der Wandung (8) des Behältnisses (7) ein maximal vorgegebenes Maß übersteigt.

30 7. Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumenstroms eines Mediums in einem Behältnis mit mindestens zwei Ultraschallwandlern, wobei ein erster Ultraschallwandler in einer ersten Position am Behältnis vorgesehen ist und wobei ein zweiter Ultraschallwandler in einer zweiten  
35 Position am Behältnis vorgesehen ist, und wobei eine Regel-/Auswerteeinheit vorgesehen ist, die anhand der von den Ultraschallwandlern gelieferten



Meßsignale bzw. anhand der entsprechenden Meßdaten den Volumenstrom des in dem Behältnis befindlichen Mediums ermittelt,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Regel-/Auswerteeinheit (9) die aktuell gemessenen IST- Meßsignale bzw. die entsprechenden IST- Meßdaten mit korrespondierenden abgespeicherten SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten vergleicht und daß die Regel-/Auswerteeinheit (9) eine Abweichung zwischen den SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten und den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten ausgibt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Regel-/Auswerteeinheit (9) Information dahingehend bereitstellt, durch welchen fehlerhafte System- und/oder Prozeßgröße die Abweichung verursacht wird.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß es sich bei der Anordnung der Ultraschallwandler (3, 4) um eine Ein-Traversen-Anordnung (1) oder um eine Mehrfach-Traversen-Anordnung handelt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 9,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß zumindest die beiden Ultraschallwandler (3, 4), die den größten Abstand voneinander aufweisen, abwechselnd im Sende- und im Empfangsbetrieb arbeiten.

11. Vorrichtung nach Anspruch 7, 9 oder 10,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Ultraschallwandler (3, 4) im Clamp-On Verfahren an dem Behältnis (7) montiert sind.

### Zusammenfassung

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumenstroms bzw. des Massenstroms eines durch ein Behältnis fließenden Mediums. Bei der Vorrichtung handelt es sich um ein Ultraschall-Durchflußmeßgerät, das nach dem Laufzeitdifferenzprinzip arbeitet.

10

Zusätzlich wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie anhand der Meßergebnisse auch Information über die Änderung einer anderweitigen System- und/oder Prozeßgröße bereitgestellt wird. Hierzu werden die aktuell gemessenen IST-Meßsignale bzw. die entsprechenden IST- Meßdaten mit korrespondierenden abgespeicherten SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten verglichen; es wird eine Meldung ausgegeben, sobald eine Abweichung zwischen den SOLL-Meßsignalen bzw. SOLL-Meßdaten und den IST-Meßsignalen bzw. IST-Meßdaten auftritt.

15

20 (Fig. 1)

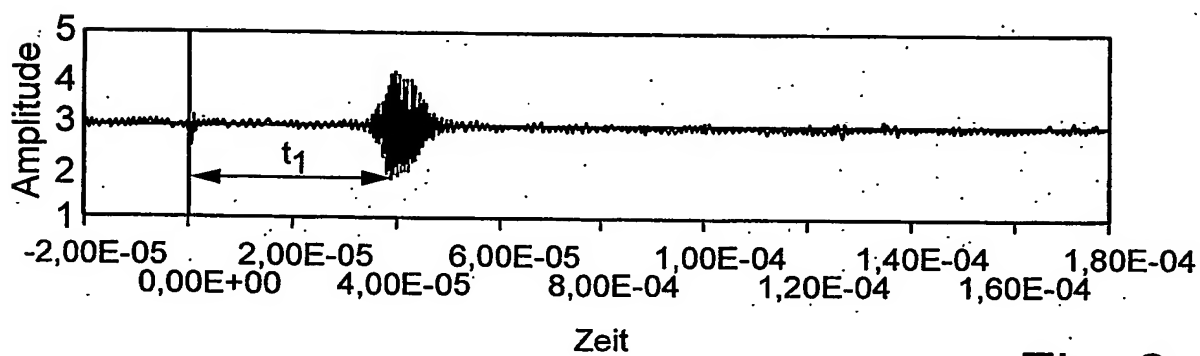
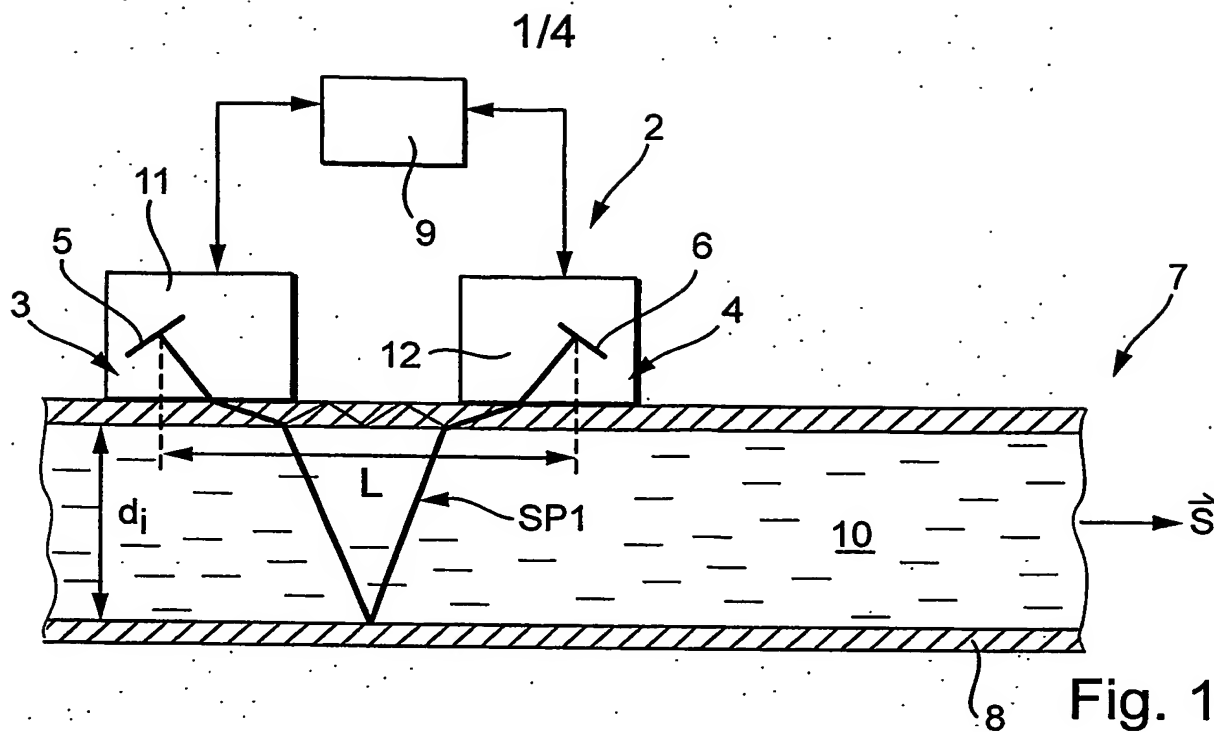


Fig. 2

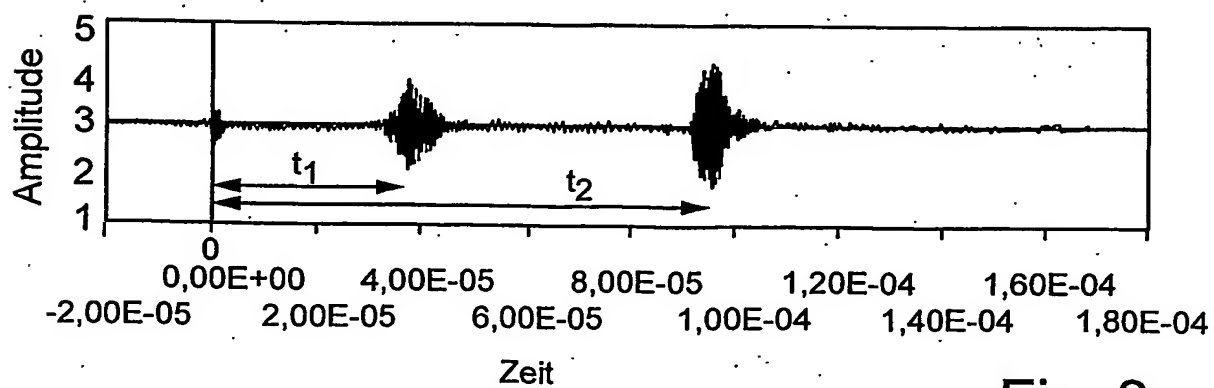


Fig. 3

2/4

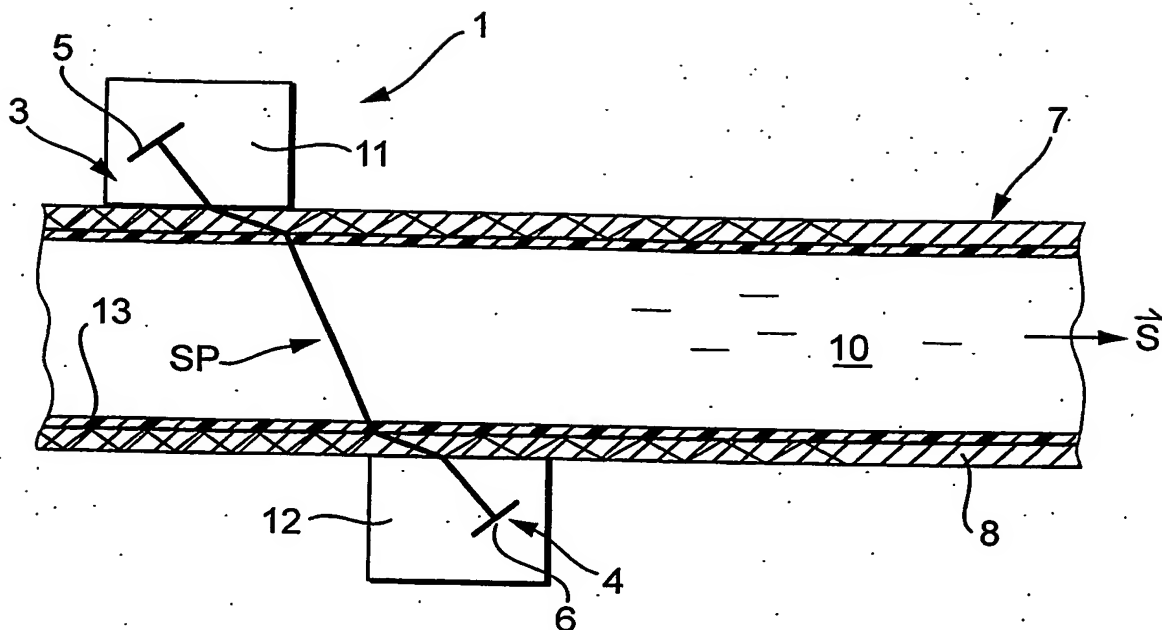


Fig. 4

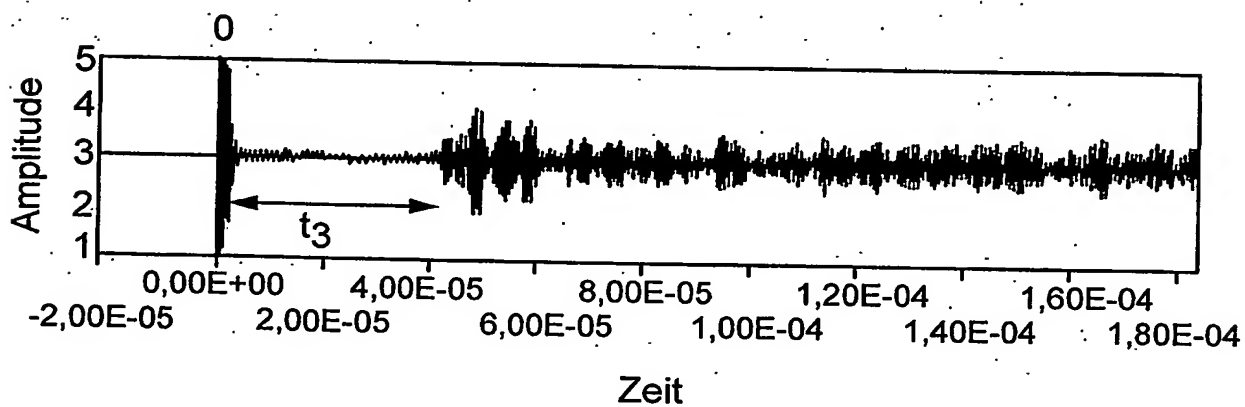


Fig. 5

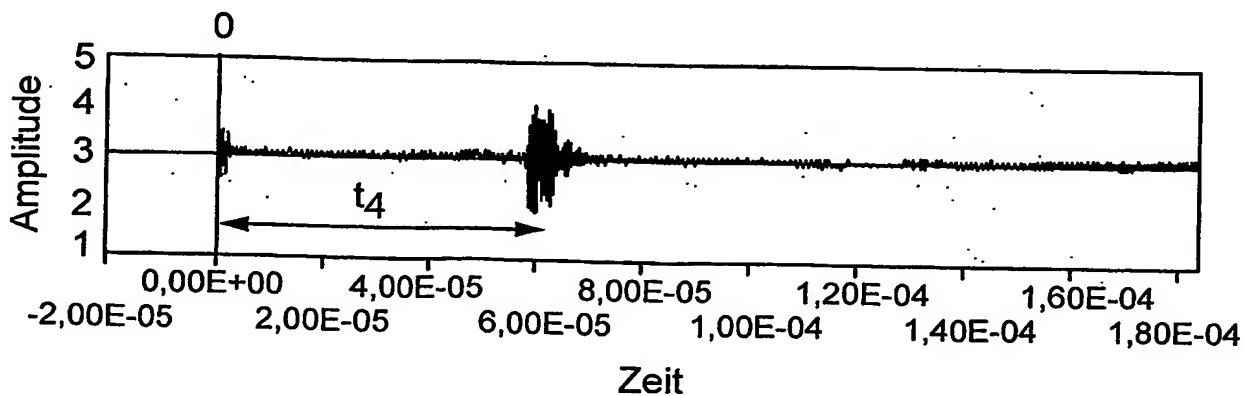


Fig. 6

3/4

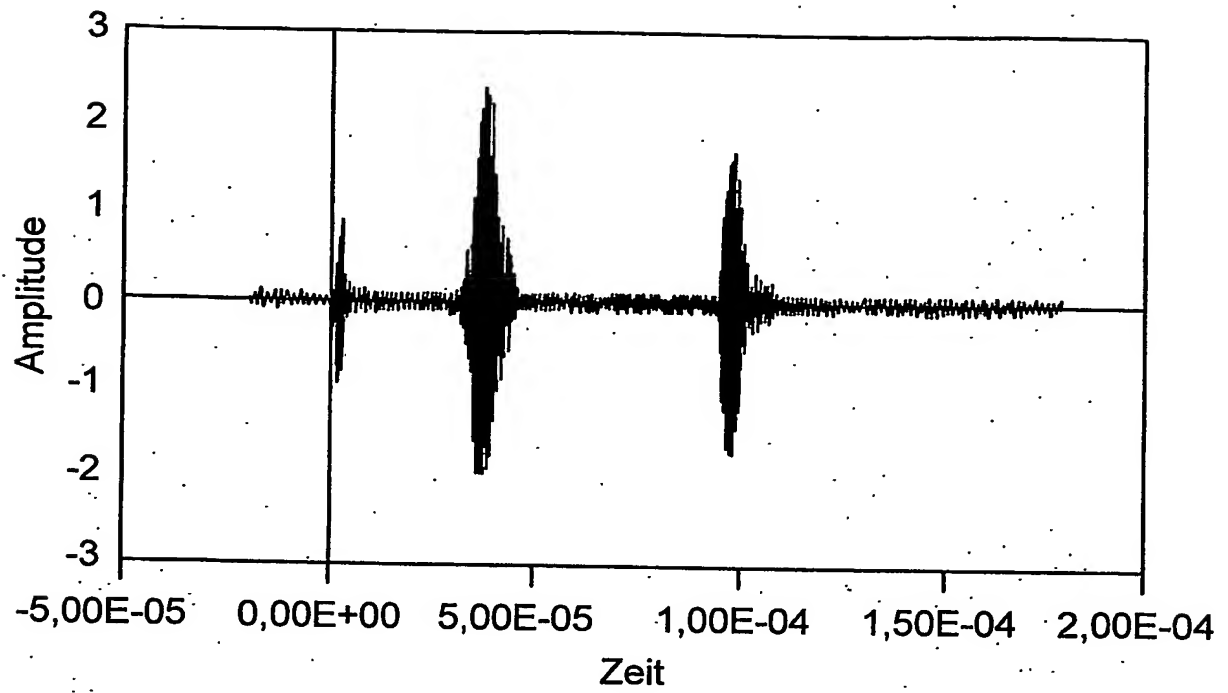


Fig. 7

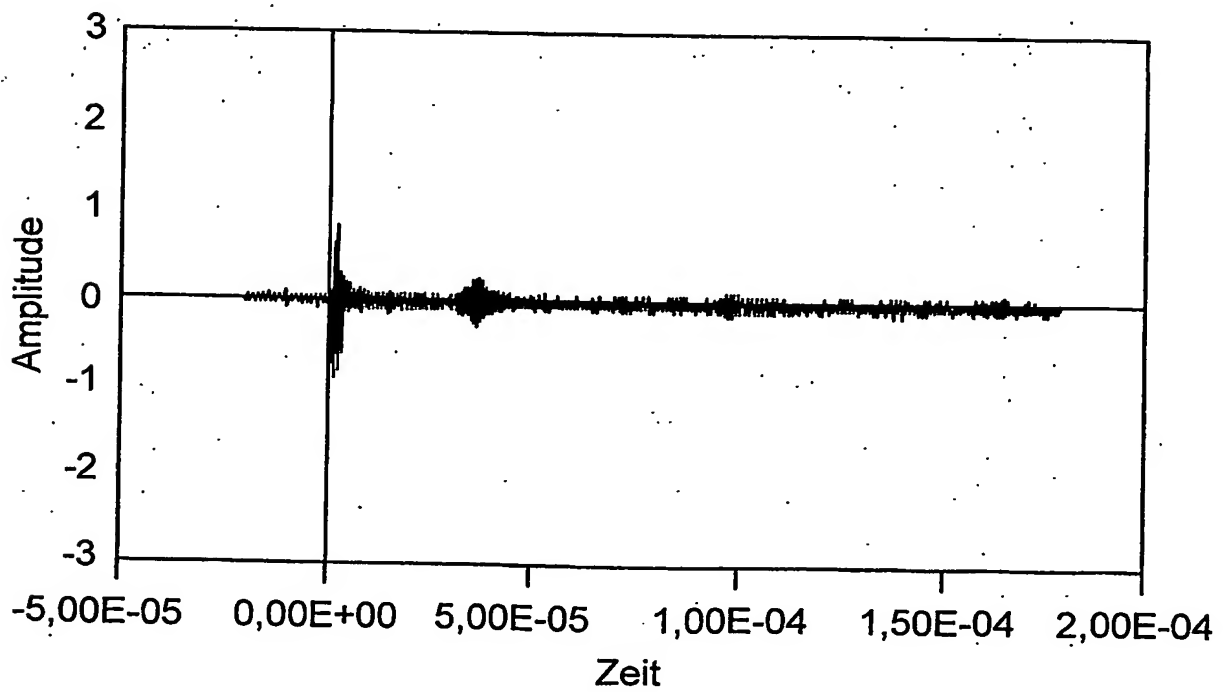


Fig. 8

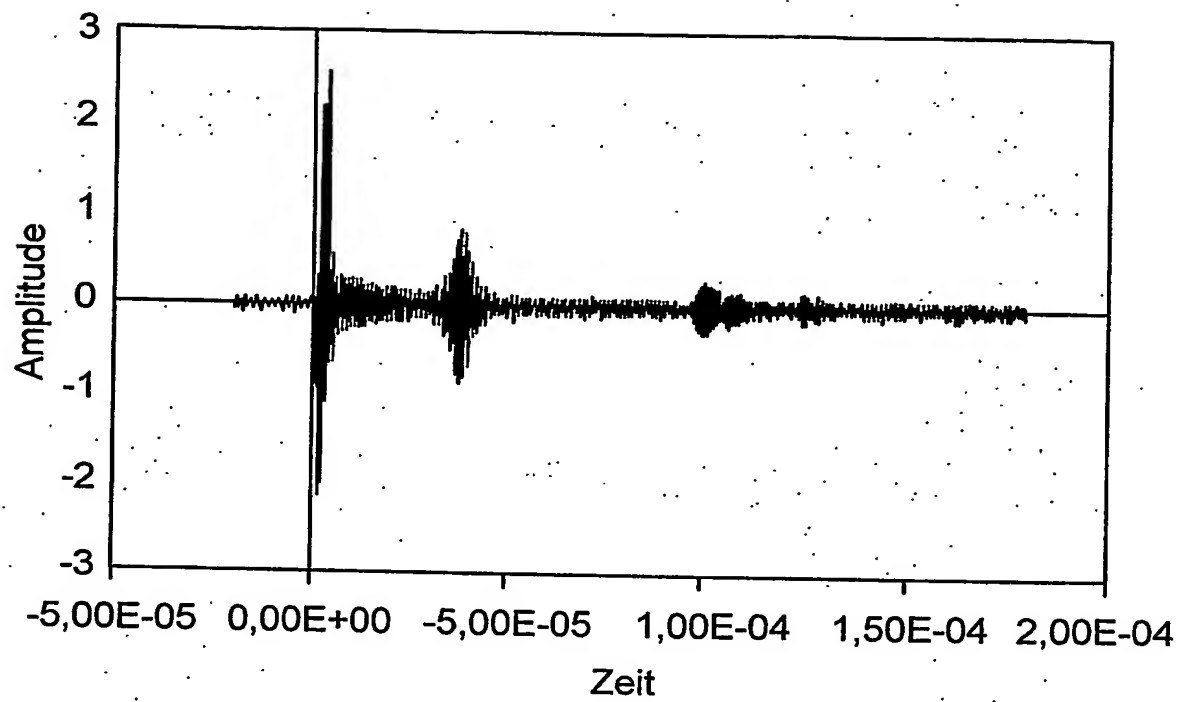


Fig. 9

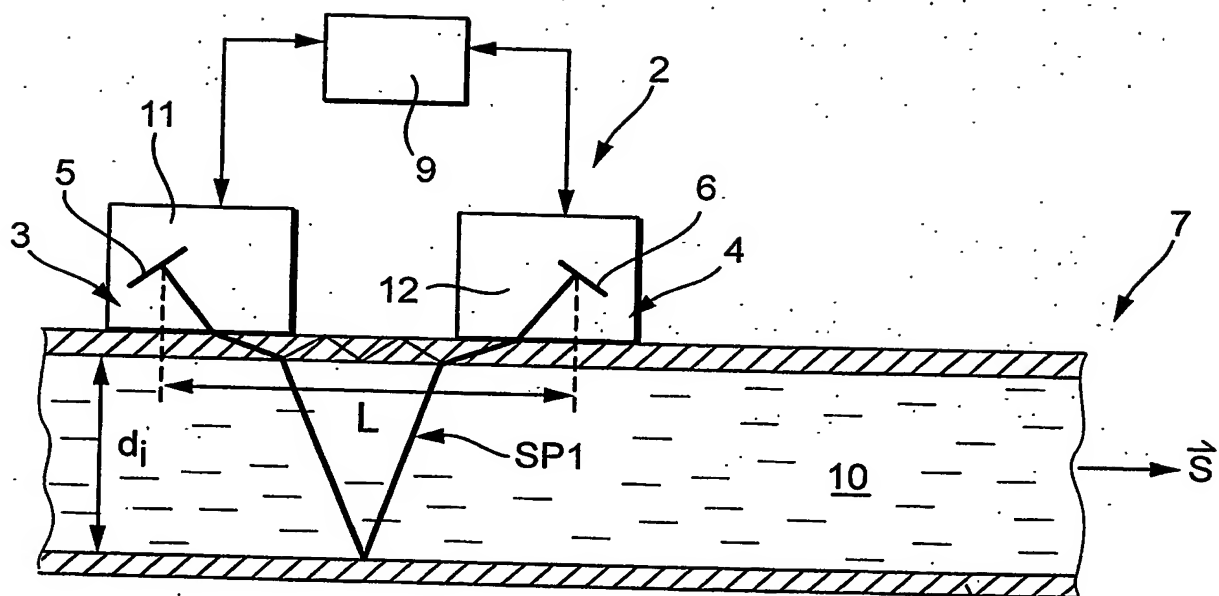


Fig. 1